

国鉄 東京第二工事局	正員	山本 強
国鉄 本社・開発局	正員	宇藤 久司
国鉄 東京第二工事局	正員	○ 森川 和夫

1. ま え が き

今回、新設トンネル内に各種軌道を設けて、輪軸落下試験を行い、トンネル構築振動、トンネル上地盤振動の資料を得ることができた。この資料を基にトンネル上地盤振動の大きさを、伝達関数という考え方をを用いて、予測する方法を検討した。

2. 解 析 デ ー タ

2-1 輪 軸 落 下 試 験

試験を行ったトンネルは、山岳型トンネルである。試験位置における地質は、地表からローム層(約8m)、洪積砂礫層(約7m)、洪積砂層で、各地層はほぼ水平の平行層となっている。トンネルは洪積層中に建設されている。試験位置は、坑口より約150mの位置で、トンネルの土被りは約13mである。地下水位は、地表より約2.2mで、F.L.下約2.0mの位置にある。輪軸落下試験は、自重 $W=1.35$ tの貨車用輪軸を、レール面上50mmの位置より自由落下させ、振動を生じさせた。今回の解析では、バラスト軌道のデータを用いた。バラスト軌道については、試験前に起振機(起振モメントは、 $75\text{ kg}\cdot\text{m}$ 、周波数35~40Hz、起振力3.5~5t)を使用して、バラストの締固まり状態が一様になるようにした。振動測定位置は、トンネル構築部では、天盤、側壁、底盤の3ヶ所、地上部では、軌道中心より0m, 5m, 10m, 30m, 40mの5ヶ所で、計8ヶ所である。トンネル構築部の振動は、汎用振動計(PV-09A)、トンネル上地盤振動は、振動レベル計(TM-21A)を用いて、振動加速度をデータレコーダー(R-Z80)に記録、データは振動速度で再生整理した。振動の測定方向は、トンネル直角水平、垂直の2方向である。

2-2 解 析 デ ー タ

試験は、レール面上50mmの高さから、輪軸を自由落下させる回測定を行った。測定したデータは、フーリエ解析を行った。フーリエスペクトルのサンプリング間隔は、 1×10^{-3} secで、解析時間は、1秒とした。スペクトルの振動間隔は1Hzとなり、スペクトルの平滑化は行わなかった。解析最大振動数は、500Hzであるが、スペクトルは200Hz前後が卓越し、50~600Hz前後に第2のピーク値があるパターンを示している。今回の解析では、1000Hzまでを解析対象とした。輪軸落下による振動継続時間は、約0.4秒で、暗振動は、ほとんど認められなかった。

3. 解 析

伝達関数を検討するにあたり、次のような仮定をした。

- ① トンネル構築と地盤の相互作用は、無視する。
- ② 従って、地盤への入力としての振動は、トンネル構築の振動を考える。
- ③ トンネル構築部の振動分布は、退避孔、側壁、天盤で直線分布している。
- ④ 伝達関数は、地盤を線型系と考え、出力振動と入力振動の比で表わされる。

3-1 波群の種類

波形記録を見ると、まず比較的振幅の小さな波群が現われ、約50ms経過後に最大振幅(主要動波群)を成す波群が生じている。この2種の波群について走時曲線を求めた。弾性波試験より求めた、各層の v_p , v_s を用いて、側壁底部から各測点までの振動到達時間を計算し、走時曲線と比較した。2種の波群の走時曲線は、2次曲線を示しているが、両者の傾向は異なり波群の種類が異なる事が判った。初期振動とP波、主要振動とS波の、走時曲線と計算した到達時間の傾向は、よい相関を示した。軌跡からは、波群の種類を判断できなかった。

表面波を仮定すると測定位置は軌道中心より約40mの範囲であり、走時曲線は、直線になると思われる。以上の事が、今回得られたデータの主要動は、S波と考えよいと思われる。

3-2 地盤の伝達特性

本報告では、地表部は、トンネル直角水平の振動について考察した。地表面に対して、振動は、ほぼ直角に伝達するので、SV波を考え、入力振動は構築の上下振動を考えた。実測データより得られた出力振動と入力振動のスペクトル比、伝達関数を図-1に実線で示した。各種軌道、各測点で、伝達関数は類似のパターンを示した。また、トンネル上の振動を予測する範囲内で地盤に伝達関数が存在すると考えてよいと思われる。

実測、理論伝達関数の比較(有直交弾性系モデル)

実測値と計算値の比較(バラスト軌道水平)

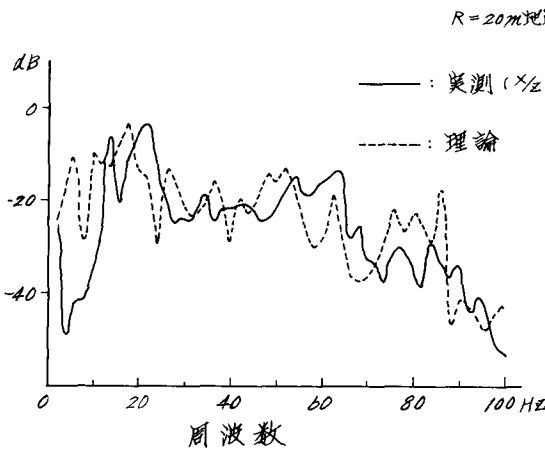


図-1

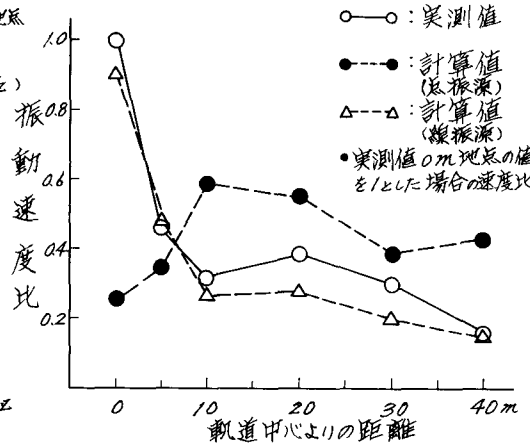


図-2

4. 理論的考察

本報告では、Hashellの方法を用いて地表振動のスペクトルを計算した。Hashellの方法では、振動の内部減衰、幾何減衰を考慮に入れていないので、Hashellの方法で求めた伝達関数を $H(\omega)$ とすると、 $F(\omega) = H(\omega) \cdot e^{-\alpha r}$ と理論伝達関数と考えた。ここで $\alpha = 1$ 、 $\lambda = 0.05$ とし、計算に用いた r は、弾性波試験より得られた値を用いた。計算結果は図-1に波線で示してある。実測データより得られた伝達関数と理論的に求めた伝達関数を比較すると、細かい点では一致しないが、パターンの傾向としては、ほぼ一致している。この事は、理論的に求めた伝達関数を用いて、振動予測をする可能性があることを表わしている。

5. 振動の実測値と計算値の比較

底盤の上下振動が地盤に伝達していくモデル(点振源)と、トンネル構築全体が振動源となっているモデル(線振源)について、伝達関数を用いて振動速度を計算し、軌道中心より0m地点の実測値を1とした振動速度比で、実測値と比較したのが図-2である。図-2から線振源モデルが比較の実測値に近い値を示していることが判る。点振源モデル0m位置の計算値が実測値より低いのは、側壁、天盤の振動を無視したためと思われる。10m以遠で線振源モデルが点振源モデルより小さい値を示すのは、線振源モデルでは、構築で最大振動を示す底盤の振動を計算に入っていないためと思われる。

6. 結論

軌道下試験より、発生した振動の主要動はS波で、地盤に振動源の特性に左右されない伝達関数が存在すると考えてよい事が判った。Hashellの方法を補正し、線振源モデルで振動速度を計算すると実測値とよい相関を示した。今回の解析は、だいたんな仮定に立ち、列車走行データと比較検討するとともに、さらに今回得られたデータについても検討を加える必要がある。

参考文献: Hashell, *Crestal Reflection of plane P and SV waves*, J.G.R Vol.67, No.12